Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 291-303

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۳۰۳-۲۹۱

تأثیر کود نیتروژن بر دریافت و کارایی استفاده از تابش در دو رقم کلزای بهاره

سید عطااله سیادت[1*]، ابوالفضل درخشان[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۲/۳۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۲۲

چکیده

زیست‌توده گیاهی بالای سطح زمین را می‌توان به‌صورت حاصل‌ضرب تابش تجمعی دریافت شده (IPAR) توسط سایه‌انداز گیاهی و کارایی استفاده از تابش (RUE) بیان نمود. در این مطالعه تأثیر تیمارهای مصرف نیتروژن (N) بر IPAR و RUE دو رقم کلزای بهاره (Hyola 401 و دلگان) بررسی شد. آزمایش مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۶-۱۳۹۵ به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان اجرا شد. میزان مصرف N در هفت سطح صفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و نوع رقم کلزا در دو سطح به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین به فراهمی N در هر دو رقم کلزای مطالعه شده به تغییر هردوی IPAR و RUE مربوط بود. کل IPAR تجمعی در طی دوره رشد در دو رقم Hyola 401 و دلگان در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار به‌ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. در هر دو رقم کلزا، IPAR به‌شدت به LAI و LAD وابسته بود. به این معنی که، مصرف N با افزایش LAI و LAD منجر به افزایش IPAR شد. مصرف N تأثیری بر ضریب استهلاک نوری (K) سایه‌انداز گیاهی نداشت و این ضریب برای رقم Hyola 401 معادل ۰/۶۵ (± ۰/۰۲) و برای رقم دلگان معادل ۰/۷۳ (± ۰/۰۲) برآورد شد. بسته به فراهمی N، برآورد RUE برای رقم دلگان بین ۲/۰۲ (تیمار شاهد) تا ۳/۲۵ گرم بر مگاژول (۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار) و برای رقم Hyola 401 بین ۱/۸۶ (تیمار شاهد) تا ۳/۶۲ گرم بر مگاژول (۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار) متغیر بود.

واژه‌های کلیدی: دوام سطح برگ، سرعت رشد محصول، شاخص سطح برگ، ضریب استهلاک نور، کسر تابش دریافت شده

مقدمه

تجمع زیست‌توده گیاه زراعی به‌طور مستقیم به میزان تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (IPAR[3]) توسط سایه‌انداز گیاهی در طی دوره رشد وابسته است (Sandana *et al.*, 2012). شیب این رابطه نشان‌دهنده کارایی استفاده از تابش (RUE[4]) است که به‌عنوان زیست‌توده تولیدشده در واحد کل IPAR یا کل تابش خورشیدی دریافت شده (IR[5]) تعریف می‌شود (Sinclair and Muchow, 1999). بنابراین، زیست‌توده بالای سطح زمین (گرم در متر مربع) را می‌توان به‌صورت حاصل‌ضرب IR تجمعی (یا IPAR تجمعی) در طول چرخه رشد گیاه زراعی (مگاژول بر متر مربع) و RUE (گرم بر مگاژول) بیان نمود (Sandana and Pinochet, 2011). مقدار IR به طول دوره رشد گیاه زراعی، کل تابش خورشیدی رسیده (IGR[6]) و کسر تابش دریافت شده توسط سایه‌انداز گیاهی در هر روز (FIR[7]) بستگی دارد (Sandana *et al.*,2012). طول چرخه رشد گیاه زراعی تحت کنترل ژنوتیپ و عوامل محیطی (به‌طور عمده دما و دوره نوری) است (Soltani *et al.*, 2006). درواقع، محدودیت‌های خاک مانند کمبود عناصر غذایی تأثیر جزئی بر طول چرخه رشد گیاه زراعی نشان داده‌اند (Abeledo *et al.*, 2003; Sandana and Pinochet, 2011). شدت تابش خورشیدی در یک منطقه به نسبت ثابت است و از آن می‌توان به‌عنوان منبعی نام برد که به‌طور کارآمدتری نسبت به سایر منابع مصرفی بر تولید گیاهان زراعی تأثیرگذار است. تشعشع رسیده به بالای سایه‌انداز یا به جامعه گیاهی برخورد کرده و توسط آن دریافت می‌شود و یا از آن عبور کرده و به سطح زمین می‌رسد. تشعشع دریافت شده نیز یا توسط سایه‌انداز گیاهی جذب می‌شود یا به آن برخورد کرده و منعکس می‌شود. FIR به شاخص سطح برگ (LAI) و ضریب استهلاک نوری(K)[8] سایه‌انداز گیاهی بستگی دارد (Massignam *et al.*, 2009). مطالعات متعدد در مورد گیاهان زراعی

۱- استاد گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
۲- دکتری زراعت، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان
(*- نویسنده مسئول: Email: seyedatasiadat@yahoo.com)
DOI: 10.22067/gsc.v17i2.72882

3- Intercepted photosynthetically active radiation
4- Radiation use efficiency
5- Intercepted solar radiation
6- Incident solar (global) radiation
7- Fraction of intercepted radiation
8- Light extinction coefficient

مختلف نشان داده است که کمبود نیتـروژن (N) (Salvagiotti and Miralles, 2008; Massignam *et al*., 2009)، فسـفر (Sandana *et al*., 2012)، گـوگرد (Salvagiotti and Miralles, 2008) یـا سمیت آلومینیوم (Valle *et al*., 2009) میزان IR را بـه‌طـور منفـی تحت تأثیر قرار می‌دهد. پاسخ IR به کمبـود عناصـر غـذایی بـه‌طـور عمده به تغییراتLAI مربوط می‌شود و تأثیر سطوح مختلـف مصـرف عناصر غذایی بر K اندک است و بـه‌طـور معمـول از آن صـرف‌نظـر می‌شود (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006; Salvagiotti and Miralles, 2008).

میزان RUE به ویژگی‌هـای گیـاهی ماننـد ظرفیـت فتوسـنتزی برگ‌ها و کارایی تبدیل مـاده خشـک بسـتگی دارد (Soltani *et al*., 2006). بنـابراین، عوامـل تـنش ماننـد خشـکی و دماهـای پـایین (Jamieson *et al*., 1995)، فشار بخار (Kemanian *et al*., 2004)، دسترسـی بـه عناصـر غـذایی (Plenet *et al*., 2000) و ترکیـب بیوشیمیایی دانه‌ها (Soltani *et al*., 2006) می‌تواند میـزان RUE را تحت تأثیر قرار دهند. در میان همه عناصر غذایی، N بیشترین تأثیر را بر میـزان RUE دارد (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006). سـینکلر و هـوری (Sinclair and Horie, 1989) نشـان دادنـد کـه محتوای N برگ در واحد سطح برگ (یا N ویژه برگ) میـزان RUE را در گیاهان زراعی مختلف تحت تأثیر قرار داد و این رابطه در میـان گونه‌ها متفاوت بود. ازآنجایی‌که RUE در محتوای بالای N برگ بـه اشباع می‌رسد و با کاهش محتوای N بـرگ بـه‌طـور خطـی کـاهش می‌یابد (Sinclair and Horie, 1989)، افزایش مصرف N تا زمـانی که N ویژه برگ به حد اشباع برسد، با افـزایش RUE همـراه اسـت. بااین‌حال، کاهش میزان RUE ممکن است در سطوح مصـرف بسـیار زیـاد N رخ دهـد (Olesen *et al*., 2000). مسـاینم و همکـاران (Massignam *et al*., 2009) گزارش کردند که کـاهش فراهمـی N در ذرت و آفتابگردان از طریق کاهش هردوی FIR و RUE منجر به کاهش تولید ماده خشک شد. کاهش FIR به دلیل تـأثیر فراهمـی N بـر LAI و کـاهش RUE بـه دلیـل کـاهش N ویـژه بـرگ بـود (Massignam *et al*., 2009).

یکی از جنبه‌های بهبود بهره‌وری گیاه زراعی در چند دهه گذشـته افزایش مصرف کودهای نیتروژن‌دار بوده است (Massignam *et al*., 2009). کاربرد N یکی از ورودی‌های کلیـدی بـرای تولیـد محصـول است که پتانسیل تولید کل ماده خشک گیاهی را از طریـق تـأثیر بـر IPAR، RUE و یـا هـر دو تعیـین مـی‌کنـد (Zhou *et al*., 2017). هدف از اجرای این آزمایش ارزیابی مقایسه‌ای دو رقـم کلـزای بهـاره (Hyola 401 و دلگان) از نظر تأثیر میـزان مصـرف N بـر دو عامـل اکوفیزیولوژیک تعیین‌کننده تولید زیسـت‌تـوده یعنـی IPAR و RUE بود.

مواد و روش‌ها

آزمایش مزرعه‌ای: این پژوهش در سـال زراعـی ۹۶-۱۳۹۵ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشـاورزی و منـابع طبیعـی خوزسـتان واقع در شهر ملاثانی اجرا شد. شهر ملاثانی در ۳۵ کیلـومتری شـمال شرقی اهواز و در حاشیه شرقی رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقـه شـمالی، طـول جغرافیـایی ۴۸ درجـه و ۵۳ دقیقـه شرقی و ارتفاع ۲۳ متر از سطح دریا واقع‌شده است. آزمایش به‌صورت کرت‌های خردشده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سـه تکرار اجرا گردید. میزان مصرف N در هفـت سـطح صـفر، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار به‌عنوان عامل اصلی و نوع رقم کلزا در دو سطح (Hyola 401 و دلگان) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. Hyola 401 یک هیبریـد وارداتـی از کشـور اسـترالیا است و دلگان رقمی آزاد گرده‌افشان است که برای کشـت در منـاطق گرم جنوب کشـور اصـلاح شـده اسـت. ایـن دو رقـم کلـزای بهـاره تفاوت‌های کوچک‌تری از نظـر حـداکثر سـرعت ذاتـی نمـو، ضـریب حساسیت به فتوپریود و فتوپریود بحرانی و تفاوت‌های بـزرگ‌تـری از نظر شاخص برداشت، عملکرد دانه و خصوصیات مورفولوژیـک ماننـد ارتفاع بوته و پتانسیل تولید گره (برگ حقیقی) روی ساقه اصلی دارند. با توجه به اینکه نوع پاسخ به طول روز در هر دو رقم از نـوع روزبلنـد کمی است و هر دو رقم فتوپریود بحرانی کـوچکی دارنـد جـزء ارقـام زودرس طبقه‌بندی می‌شوند و ازاین‌رو برای کشـت پـاییزه در شـرایط خوزستان مناسب می‌باشند. انتخاب این دو رقـم بـر مبنـای مطابقـت بیشتر نیازهای اکولوژیک هر یک از مراحل نمـو فنولوژیـک آن‌هـا بـا شرایط محیطی خوزستان در کشت پـاییزه (پـاییز و زمسـتان و اوایـل بهار) صورت پذیرفت تا هر دو رقم قادر باشند پتانسیل تولید خود را در تاریخ کاشت انتخاب‌شده نشان دهند. بعد از انجـام شـخم، کـود پایـه مورد نیاز (۱۰۰ کیلوگرم در هکتـار سـولفات پتاسـیم) برحسـب نتـایج تجزیه مواد غذایی خاک مصرف شد (جدول ۱). آماده‌سازی زمین با دو مرتبه دیسک عمود بر هم، ایجاد نهر و تسطیح کرت‌ها تکمیـل شـد. سپس، دو رقم کلزا با تراکم ۲۵۰ بذر در متر مربع در تاریخ ۲۷ آبان در کرت‌های فرعی به طول ۲/۵ متر و عرض ۳ متر کشـت شـد. در هـر تکرار آزمایش، بین کرت‌های فرعی یک متر و بین کرت‌هـای اصـلی دو متر فاصله در نظر گرفته شد. فاصله بین ردیـف‌هـای کاشـت کلـزا معادل ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و کاشـت بـذرها بـا دسـت در عمق یک سانتی‌متری خاک در یک بستر بذر مسطح صـورت گرفـت. پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه، بوته‌های اضـافی تنـک و تـراکم کرت‌ها معادل ۸۰ بوته در متر مربع تنظیم شد. کود N (از منبـع اوره) مورد نیاز برای هر یک از سطوح فاکتور کودی به چهار بخش تقسـیم و یک بخش از آن در مرحله ۳-۲ برگی (۳ دی)، دو بخش از آن قبل از شروع ساقه رفتن (۲۵ دی) و یک بخش در مرحله شـروع گلـدهی

(۱۵ بهمن) به روش نواری به خاک اضـافه شـد. آزمـایش در شـرایط آبیاری بهینه انجام شد، به‌طوری که در طی دوره رشـد گیـاه از وقـوع کمبود یا بیش‌بود آب در کرت‌های آزمایشی ممانعـت شـد. همچنـین، آزمایش در شرایط عاری از تنش‌های زیسـتی حفـظ شـد. بـرای ایـن منظور، علف‌های هرز در ابتدای فصل رشد گیاه زراعی در چند نوبت با وجین دستی حذف شدند. هیچ اثری از علائم بیماری‌هـای گیـاهی در مزرعه وجود نداشت. علاوه بر این، به دلیل وجود نی (*Phragmites australis*) در حاشیه مزرعه و میزبانی آن هیچ خسارتی از شته مومی کلم (*Brevicoryne brassicae*) مشاهده نشد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical characteristics of the soil at the experiment site

نیتروژن Nitrogen (%)	فسفر Phosphorus ($mg\ kg^{-1}$)	پتاسیم Potassium ($mg\ kg^{-1}$)	هدایت الکتریکی Electric conductivity ($dS\ m^{-1}$)	سیلت Clay (%)	رس Silt (%)	شن Sand (%)
0.03	20.31	124.00	6.30	34	48	18

برای تعیین شاخص‌های رشد گیاه زراعی، ۱۲ مرحله نمونه‌برداری تخریبی به فاصله ۷ تا ۱۰ روز در طول فصل رشد کلزا انجام شـد. در هر مرحله، با رعایت اثر حاشیه‌ای ۵ بوته از هر کرت آزمایشی برداشت شد. بلافاصله پس از نمونه‌برداری، تعداد برگ‌های سـبز و بـرگ‌هـای زرد و افتاده روی ساقه اصلی هر یـک از بوتـه‌هـا شـمارش و پهنـک برگ‌های سبز از دمبرگ آن جدا شد و سپس سطح پهنک برگ‌هـا بـا استفاده از دستگاه سـطح بـرگ‌سـنج (مـدل WINAREA-UT-11) تعیین گردید. در مرحلـه رشـد رویشـی، وزن بـرگ و سـاقه (سـاقه + دمبرگ) به‌طور جداگانه پس از خشـک شـدن در آونـی بـا دمـای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت اندازه‌گیـری شـد. پـس از ظهـور گل‌آذین، وزن خشک خورجین‌ها و دانه خورجین‌ها نیز به‌طور جداگانه پـس از خشـک شـدن تـوزین شـد. همچنـین، پـیش از هـر مرحلـه نمونه‌برداری میزان دریافت تابش با استفاده از دستگاه لوکس‌متر (مدل LX-103 Light Meter) اندازه‌گیری شـد. بـرای ایـن منظـور، یـک اندازه‌گیری شدت تابش در بالای سایه‌انداز، چهار اندازه‌گیـری در زیـر سایه‌انداز (۲ اندازه‌گیری بین ردیف‌های کاشت و ۲ انـدازه‌گیـری روی ردیف‌های کاشت) و اندازه‌گیری دیگری در بـالای سـایه‌انـداز انجـام گرفت. میزان تابش رسیده به کف و بالای سایه‌انداز با میانگین‌گیـری از اندازه‌گیری‌ها محاسبه و مقادیر مشاهده‌شـده کسـر تـابش دریافـت شده (FIR) در هر کرت با استفاده از معادله ۱ تعیین شد:

$$FIR=1-\left(\frac{LBC}{LAC}\right) \qquad (۱)$$

که در این معادلـه LBC[1]، تـابش رسـیده بـه پـایین سـایه‌انـداز و LAC[2]، تابش رسیده به بالای سایه‌انداز است. حساسـیت لـوکس‌متـر مشابه چشم انسان می‌باشد، بنابراین FIR مشاهده‌شده با این دسـتگاه مشابه با اندازه‌گیری PAR اسـت (Soltani *et al.*, 2006). دماهـای حداقل و حداکثر و تعداد ساعات آفتابی در یـک ایسـتگاه هواشناسـی استاندارد (کشت و صنعت دهخدا) واقع در چند کیلومتری محل اجرای آزمایش اندازه‌گیری شد. میزان تـابش خورشـیدی رسـیده در هـر روز (DIGR) با استفاده از برنامه SRAD محاسـبه گردیـد (Soltani *et al.*,2006). این برنامه شدت تابش خورشیدی روزانه را بـا اسـتفاده از ساعات آفتابی و تابش برون زمینیمحاسبه می‌کند.

تجزیه داده‌ها: شاخص سطح برگ (LAI) کلزا در روزهای پـس از کاشت (t) برای هر رقم در هر سطح از مصرف N با استفاده از مدل بتا (معادله ۲) پیش‌بینی شد (Yin *et al.*, 2003):

$$LAI=LAI_{max}\times\left[\left(\frac{t_e-t}{t_e-t_m}\right)\times\left(\frac{t}{t_m}\right)^{\frac{t_m}{t_e-t_m}}\right]^{\delta} \qquad (۲)$$

که در این رابطه LAI_{max}، شاخص سطح برگ بیشینه؛ t_m، زمـان وقوع LAI_{max} و t_e، زمانی که LAI صفر می‌شود را نشـان مـی‌دهـد. دوام سـطح بـرگ (LAD) بـا اسـتفاده از معادلـه ۳ محاسـبه شـد (Watson, 1947):

$$LAD=\sum\left[\left(\frac{LAI_1+LAI_2}{2}\right)\times(t_2-t_1)\right] \qquad (۳)$$

که در این رابطـه t_1 و t_2 روزهـای پـس از کاشـت در دو مرحلـه نمونه‌برداری متوالی و LAI_1 و LAI_2 میزان شاخص سـطح بـرگ در آن دو مرحلـه نمونـه‌بـرداری هسـتند. در هـر رقـم، تغییـرات مقـادیر محاسبه‌شده LAD در پاسخ به افزایش مصرف N با اسـتفاده از یـک رابطه کوآدراتیک توصیف شد. سرعت رشد محصول (CGR) برای هر رقم در هر سطح از مصرف N به‌عنوان شـیب رگرسـیون خطـی بـین میزان زیست‌توده گیاه زراعی در نمونه‌برداری‌های مربوط به فاز خطی رشد (داده‌های مربوط به نمونه‌برداری‌های تخریبی چهارم تـا دهـم) و زمان تجمعی برآورد شد (Sandana *et al.*, 2012). ضریب استهلاک نـوری (K) بـرای هـر رقـم بـا بـرازش معادلـه ۴ بـه داده‌هـای FIRمشاهده‌شده (معادله ۱) و LAI مشاهده‌شده از ابتـدای دوره رشـد تا زمان بسته شـدن کامـل سـایه‌انـداز بـرآورد شـد (Justes *et al.*, 2000):

$$FIR=1-\exp(-K\times LAI) \qquad (۴)$$

1- Light beneath canopy
2- Light above canopy

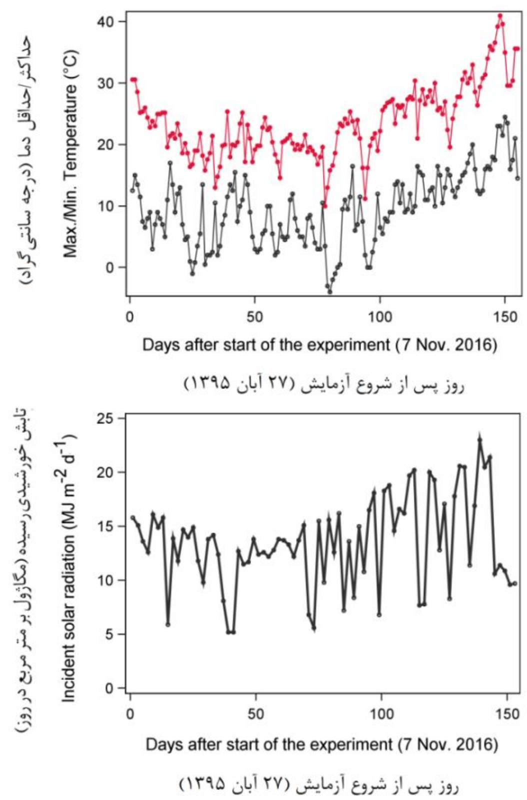
کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول دوره رشد گیاه زراعی (IPAR) برای هر رقم و سطح مصرف N با استفاده از معادله ۵ محاسبه شد (Soltani *et al.*, 2006):

IPAR=CIGR×0.5×FIR (۵)

که در این معادله CIGR، کل تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در طی چرخه رشد و ۰/۵، ضریبی برای تبدیل کل تابش خورشیدی رسیده به تابش فعال فتوسنتزی (PAR) است. FIR در معادله ۵ همان FIR مشاهده‌شده است (معادله ۱) که از ابتدا تا انتهای فصل رشد اندازه‌گیری و تعیین شده است. درنهایت، کارایی استفاده از تابش (RUE) برای هر رقم در هر سطح مصرف N به‌عنوان شیب رگرسیون خطی بین زیست‌توده بالای سطح زمین در هر تاریخ نمونه‌برداری و IPAR تجمعی در آن تاریخ تعیین شد. ازآنجایی‌که برآورد عرض از مبدأ خط رگرسیونی برای هیچ‌یک از سطوح مصرف N معنی‌دار نبود، این پارامتر حذف و رابطه y=ax به این داده‌ها برازش داده شد. روابط رگرسیونی توصیف‌شده در بالا با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه 9.3) و رویه nlin به میانگین داده‌های هر تیمار آزمایشی برازش داده شد و مقایسه بین دو رقم و سطوح مصرف N بر اساس مقادیر خطای استاندارد برآورد پارامترها و با تعیین حدود اطمینان ۹۵ درصد در برنامه Excel 2007 انجام شد. برای رسم گراف‌ها نیز از نرم‌افزار SAS و رویه Sgplot استفاده شد.

نتایج و بحث

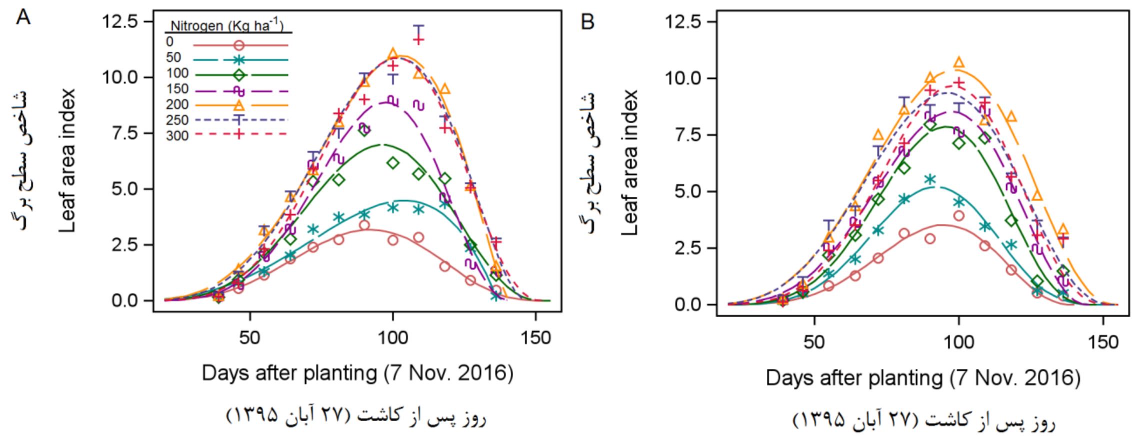
متوسط دمای روزانه در طی دوره کاشت تا شروع مرحله گلدهی بر روی ساقه اصلی هر دو رقم کلزا (حدود ۸۵ روز پس از کاشت) از ۵/۰ تا ۲۲/۸ (به‌طور متوسط ۱۳/۶)درجه سانتی‌گراد و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین در هر روز (DIGR) بین ۵/۲ و ۱۶/۳ (به‌طور متوسط ۱۲/۰) مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود. متوسط دمای روزانه از گلدهی تا رسیدگی هر دو رقم (۱۵۵ روز پس از کاشت) از ۶/۶ تا ۳۲/۰ (به‌طور متوسط ۲۰/۱) درجه سانتی‌گراد و DIGR از ۶/۵ تا ۲۵/۸ (به‌طور متوسط ۱۵/۷) مگاژول بر متر مربع در روز متغیر بود. همچنین، کل تابش خورشیدی تجمعی رسیده به سطح زمین در طی چرخه رشد (CIGR) هر دو رقم کلزا معادل ۲۱۱۲/۲ مگاژول بر متر مربع بود (شکل ۱). ازآنجایی‌که در حدود ۵۰ درصد از کل تابش خورشیدی که به سطح زمین می‌رسد در محدوده ۷۰۰-۴۰۰ نانومتر قرار دارد، مجموع PAR رسیده به بالای سایه‌انداز گیاهی معادل ۱۰۵۶/۱ مگاژول بر متر مربع تعیین شد.



شکل ۱- دماهای حداقل و حداکثر روزانه و تابش خورشیدی رسیده در هر روز در طی چرخه رشد کلزا

Figure 1- Daily minimum and maximum temperatures and daily incident solar radiation during the growing cycle of canola

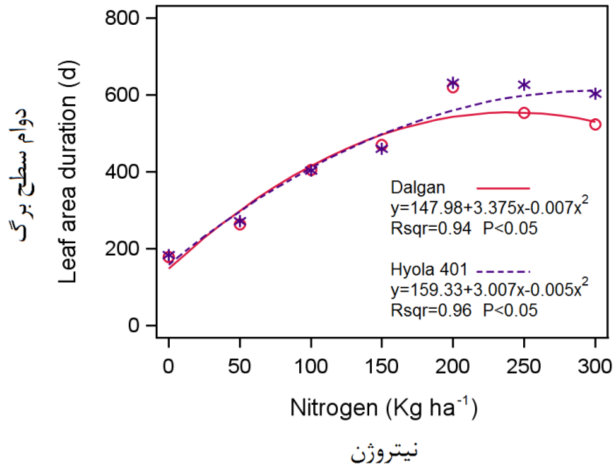
برازش مدل بتا (معادله ۲) به تغییرات LAI دو رقم کلزای بهاره در روزهای پس از کاشت برای سطوح مختلف مصرف N در شکل ۲ ارائه‌شده است. بدون در نظر گرفتن مقدار مصرف N، LAI هر دو رقم با رشد گیاه و توسعه سطح برگ آن افزایش یافت و در مدت‌زمان کوتاهی پس از شروع گلدهی بر روی ساقه اصلی به حداکثر رسید (در حدود ۹۶ روز پس از کاشت در رقم دلگان ودر حدود ۱۰۰ روز پس از کاشت در رقم Hyola 401) و پس از آن تا زمان رسیدگی (حدود ۱۵۵ روز پس از کاشت) به دلیل پیری و ریزش برگ‌ها روندی نزولی نشان داد (شکل ۲). میزان مصرف N به‌طور معنی‌داری LAI_{max} هر دو رقم کلزای بهاره را تحت تأثیر قرار داد ($P<0.05$). در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، میان سطوح مصرف ۲۰۰ (۱۰/۳۷±۰/۴۳ برای رقم دلگان و ۱۰/۹۷±۰/۲۴ برای رقم Hyola 401)، ۲۵۰ (۹/۳۶±۰/۴۲ برای رقم دلگان و ۱۰/۸۷±۰/۴۸ برای رقم Hyola 401) و ۳۰۰ کیلوگرم N خالص در هکتار (۹/۶۷±۰/۴۰ برای رقم دلگان و ۱۰/۸۹±۰/۳۹ برای رقم Hyola 401) اختلاف معنی‌داری از نظر برآورد LAI_{max} مشاهده نشد. برآورد LAI_{max} رقم Hyola 401 در این سطوح کودی به‌طور معنی‌داری بیشتر از تیمار شاهد (۳/۱۸±۰/۱۱) یا مصرف ۵۰ (۴/۴۹±۰/۲۰)، ۱۰۰ (۶/۹۸±۰/۳۵) و ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار (۸/۸۹±۰/۴۸)بود. در رقم دلگان، برآورد LAI_{max} تیمار شاهد (۳/۵۳±۰/۲۰) به‌طور معنی‌داری کمتر از برآورد آن برای شرایط مصرف ۵۰ کیلوگرم N در هکتار (۵/۲۲±۰/۱۹) و برای این تیمار نیز به‌طور معنی‌داری کمتر از سایر سطوح مصرف N بود. هرچند که در این رقم نیز افزایش مصرف N به افزایش LAI منجر شد، اما مقادیر خطای استاندارد برآوردها نشان داد که اختلاف معنی‌داری میان سطوح مصرف ۱۰۰ (۷/۸۷±۰/۴۳)، ۱۵۰ (۸/۵۳±۰/۳۳)، ۲۵۰ و ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار از نظر برآورد LAI_{max} وجود نداشت. علاوه بر این، بین دو رقم کلزای مطالعه شده در هیچ سطحی از مصرف N تفاوت معنی‌داری از نظر برآورد LAI_{max} مشاهده نشد (شکل ۲).



شکل ۲- تغییرات شاخص سطح برگ دو رقم کلزای بهاره Hyola 401 (A) و دلگان (B) در روزهای پس از کاشت در پاسخ به مصرف سطوح مختلف نیتروژن

Figure 2- Changes in leaf area index of two spring canola cultivars Hyola 401 (A) and Dalgan (B) in the days after planting in response to different levels of nitrogen consumption

رابطه کوآدراتیک به‌ترتیب در حدود ۹۶ و ۹۴ درصد از تغییرات LAD دو رقم کلزای Hyola 401 و دلگان در پاسخ به افزایش مصرف N را توجیه کرد (شکل ۳). بر اساس این رابطه، LAD رقم دلگان و Hyola 401 در شرایط بدون مصرف کود به‌ترتیب معادل ۱۴۷/۹۸ (± ۲۰/۷۶) و ۱۵۹/۳۳ روز (± ۲۹/۰۹) برآورد شد که از این نظر بین دو رقم تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در هر دو رقم کلزا، LAD در پاسخ به افزایش مصرف N افزایش یافت اما در رقم دلگان حداکثر LAD (۵۵۴/۷۹ روز) با مصرف ۲۴۱/۰۷ کیلوگرم N در هکتار به‌دست آمد و مقادیر N بیشتر از این حد منجر به کاهش LAD شد، درحالی‌که حداکثر LAD رقم Hyola 401 (۶۱۱/۴۳ روز) با مصرف ۳۰۰/۷۰ کیلوگرم N در هکتار به‌دست آمد (شکل ۳).

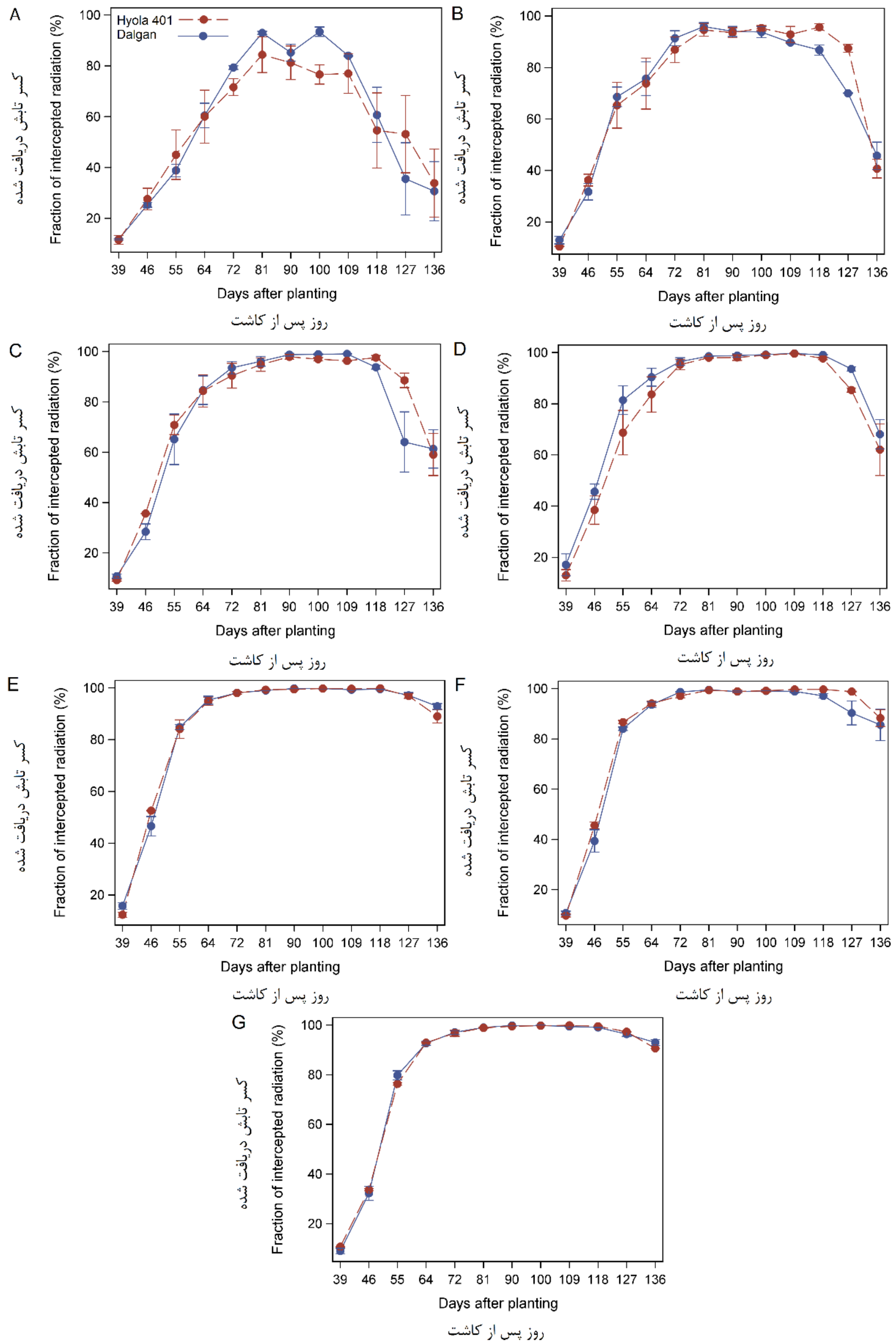


شکل ۳- تغییرات دوام سطح برگ دو رقم کلزای بهاره Hyola 401 و دلگان در پاسخ به افزایش مصرف نیتروژن

Figure 3- Changes in leaf area duration of two spring canola cultivars Hyola 401 and Dalgan in response to increasing nitrogen consumption

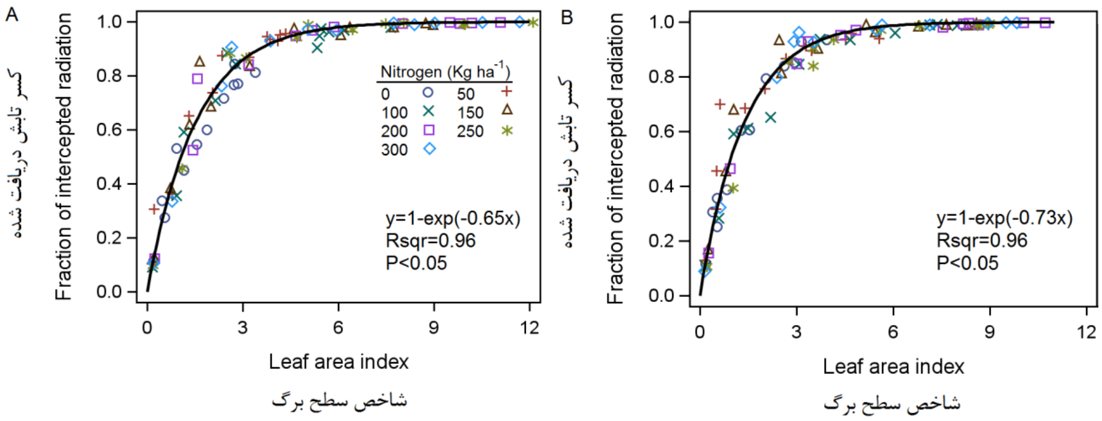
مقادیر اندازه‌گیری شده کسر تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (FIR) توسط سایه‌انداز دو رقم کلزا در روزهای پس از کاشت برای تیمارهای مختلف مصرف N در شکل ۴ ارائه‌شده است. روند کلی دریافت تابش توسط سایه‌انداز گیاهی در هر دو رقم مورد مطالعه در شرایط مصرف سطح معینی از N تقریباً مشابه بود. بدون در نظر گرفتن نوع رقم، تأثیر مصرف N بر میزان دریافت تابش در همه تاریخ‌های نمونه‌برداری به‌استثنای نمونه‌برداری اول (۳۹ روز پس از کاشت) معنی‌دار بود ($P<0.05$)، به‌طوری‌که مصرف مقادیر بالاتر N منجر به دریافت بیشتر PAR توسط سایه‌انداز گیاهی هر دو رقم شد. بیشترین درصد دریافت تابش در شرایط بدون مصرف کود پس از ۸۱ روز از کاشت مشاهده شد که این میزان به‌طور معنی‌داری کوچک‌تر از FIR مشاهده‌شده در سایر سطوح مصرف N بود. علاوه بر تکمیل کندتر پوشش سایه‌انداز و دریافت کمتر تابش در دوره ابتدایی رشد در شرایط مصرف سطوح کمتر N، در دوره انتهایی رشد نیز FIR در این تیمارها سریع‌تر و به میزان بیشتری کاهش یافت (شکل ۴). همبستگی مثبت و معنی‌داری ($P<0.05$) بین FIR و LAI در هر دو رقم کلزای Hyola 401 ($r=0.73$) و دلگان ($r=0.76$) وجود داشت. تأثیر تیمارهای N بر FIR به‌طور عمده مربوط به تغییر LAI بود و ازاین‌رو رابطه بین FIR و LAI برای هر رقم با استفاده از یک رابطه واحد توصیف شد (شکل ۵). بر این اساس، K برای رقم Hyola 401 معادل ۰/۶۵ (۰/۰۲ ±) و برای رقم دلگان معادل ۰/۷۳ (۰/۰۲ ±) برآورد شد.

رابطه بین کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده در طول دوره رشد گیاه زراعی (IPAR) با LAI_{max} و LAD در هر دو رقم کلزای مورد مطالعه در شکل ۶ نشان داده‌شده است. در هر دو رقم، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین IPAR و LAI_{max} ($r=90$ برای رقم Hyola 401 و $r=0.98$ برای رقم دلگان) و بین IPAR و LAD ($r=92$ برای رقم Hyola 401 و $r=0.99$ برای رقم دلگان) وجود داشت. بنابراین، در هر دو رقم IPAR به‌شدت به LAI_{max} و LAD وابسته بود. به این معنی که، مصرف N با افزایش LAI_{max} و LAD منجر به افزایش IPAR شده است. بسته به میزان مصرف N، زیست‌توده بالای سطح زمین در رقم Hyola 401 بین ۹۳۲ تا ۲۱۹۲ گرم در متر مربع و در رقم دلگان بین ۸۵۳ تا ۱۸۱۱ گرم در متر مربع متغیر بود. زیست‌توده بالای سطح زمین در هر دو رقم کلزای بهاره به‌شدت به سرعت رشد محصول (CGR) وابسته بود (شکل ۷A). در هر دو رقم کمترین میزان CGR در شرایط بدون مصرف کود (۱۵/۶۸ گرم بر متر مربع در روز برای رقم Hyola 401 و ۱۵/۵۸ گرم بر متر مربع در روز برای رقم دلگان) و بیشترین میزان آن در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار (به‌ترتیب ۳۴/۹۳ و ۳۲/۰۷ گرم بر متر مربع در روز برای رقم Hyola 401 و دلگان) مشاهده شد. علاوه بر این، CGR به‌شدت به IPAR بستگی داشت (شکل ۷B).



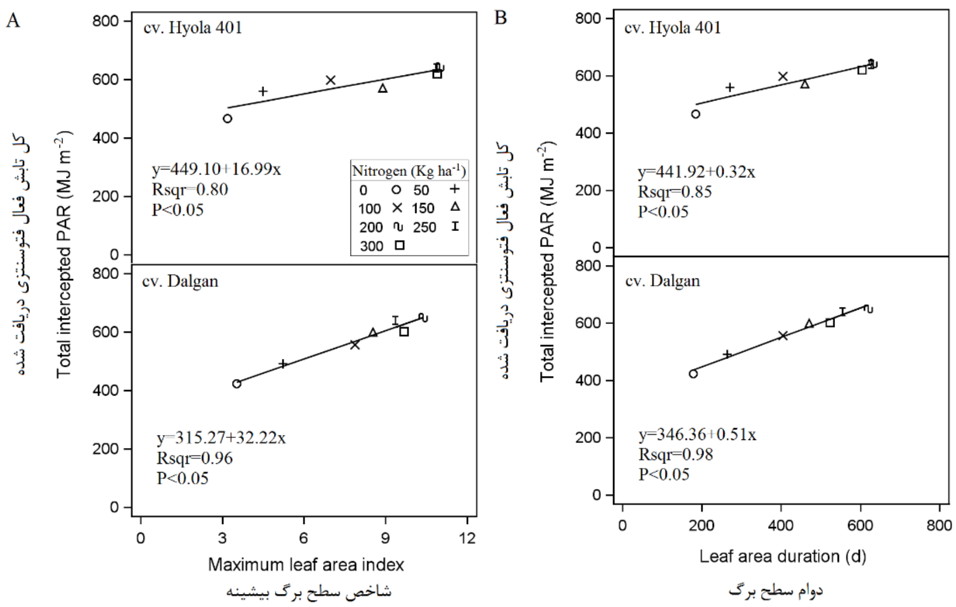
شکل ٤- کسر تابش دریافت شده در روزهای پس از کاشت برای دو رقم کلزا در تیمارهای مصرف صفر (A)، ۵۰ (B)، ۱۰۰ (C)، ۱۵۰ (D)، ۲۰۰ (E)، ۲۵۰ (F) و ۳۰۰ (G) کیلوگرم نیتروژن در هکتار

Figure 4- Fraction of intercepted radiation in the days after planting for two canola cultivars in treatments of consumption of 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D), 200 (E), 250 (F) and 300 (G) kg nitrogen ha^{-1}



شکل ۵- رابطه بین کسر تابش دریافت شده و شاخص سطح برگ کلزای رقم Hyola 401 (A) و دلگان (B) در تیمارهای مختلف مصرف نیتروژن

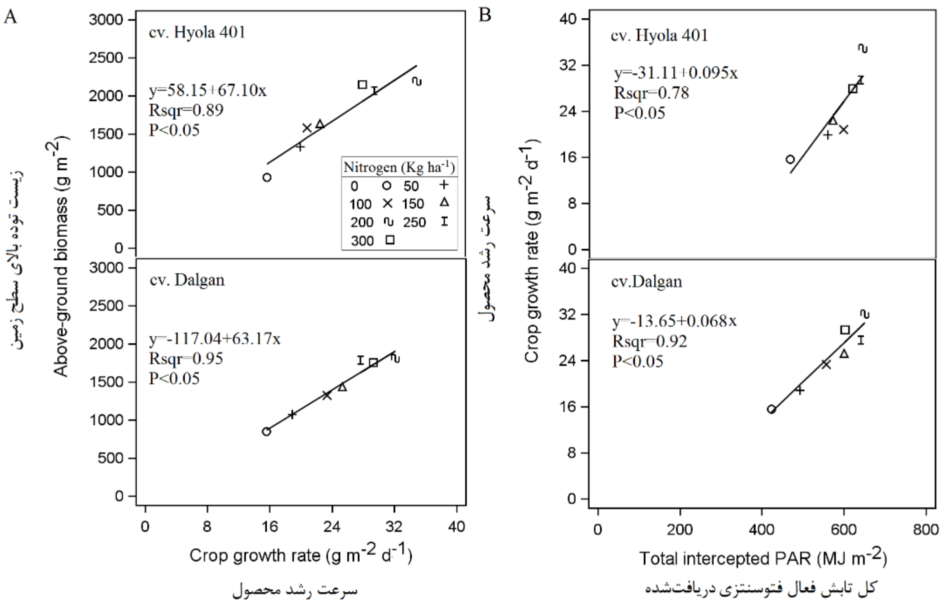
Figure 5- Relationship between the fraction of intercepted radiation and the leaf area index of canola cvs. Hyola 401 (A) and Dalgan (B) in different treatments of nitrogen consumption



شکل ٦- رابطه بین کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده با شاخص سطح برگ بیشینه (A) و دوام سطح برگ (B) در دو رقم کلزای مطالعه شده

Figure 6- Relationship between the total intercepted photosynthetically active radiation and (A) maximum leaf area index and (B) leaf area duration for two canola cultivars

صرف‌نظر از میزان مصرف N، تجمع زیست‌توده بالای سطح زمین به‌شدت و به‌طور معنی‌داری ($P<0.01$) به IPAR تجمعی توسط گیاه زراعی در طول چرخه رشد وابسته بود (شکل ۸). کل IPAR تجمعی در طی دوره رشد در دو رقم Hyola 401 و دلگان در شرایط مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار به‌ترتیب در حدود ۲۷ و ۳۵ درصد بیشتر از تیمار شاهد بود. بااین‌حال، افزایش زیست‌توده بالای سطح زمین در این تیمار نسبت به شرایط عدم مصرف N در رقم Hyola 401 در حدود ۵۹ درصد و در رقم دلگان در حدود ۵۳ درصد بود. بسته به میزان مصرف N، برآورد RUE برای رقم دلگان بین ۲/۰۲ تا ۳/۲۵ گرم بر مگاژول و برای رقم Hyola 401 بین ۱/۸۶ تا ۳/۶۲ گرم بر مگاژول متغیر بود (شکل ۸). بااین‌حال، بین دو رقم کلزای مورد مطالعه تنها در شرایط مصرف ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار اختلاف معنی‌داری از نظر برآورد RUE وجود داشت. در رقم Hyola 401، افزایش مصرف N تا سطح ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار منجر به افزایش معنی‌دار RUE شد اما میان سطوح مصرف ۲۰۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم N در هکتار تفاوت معنی‌داری از این نظر وجود نداشت.

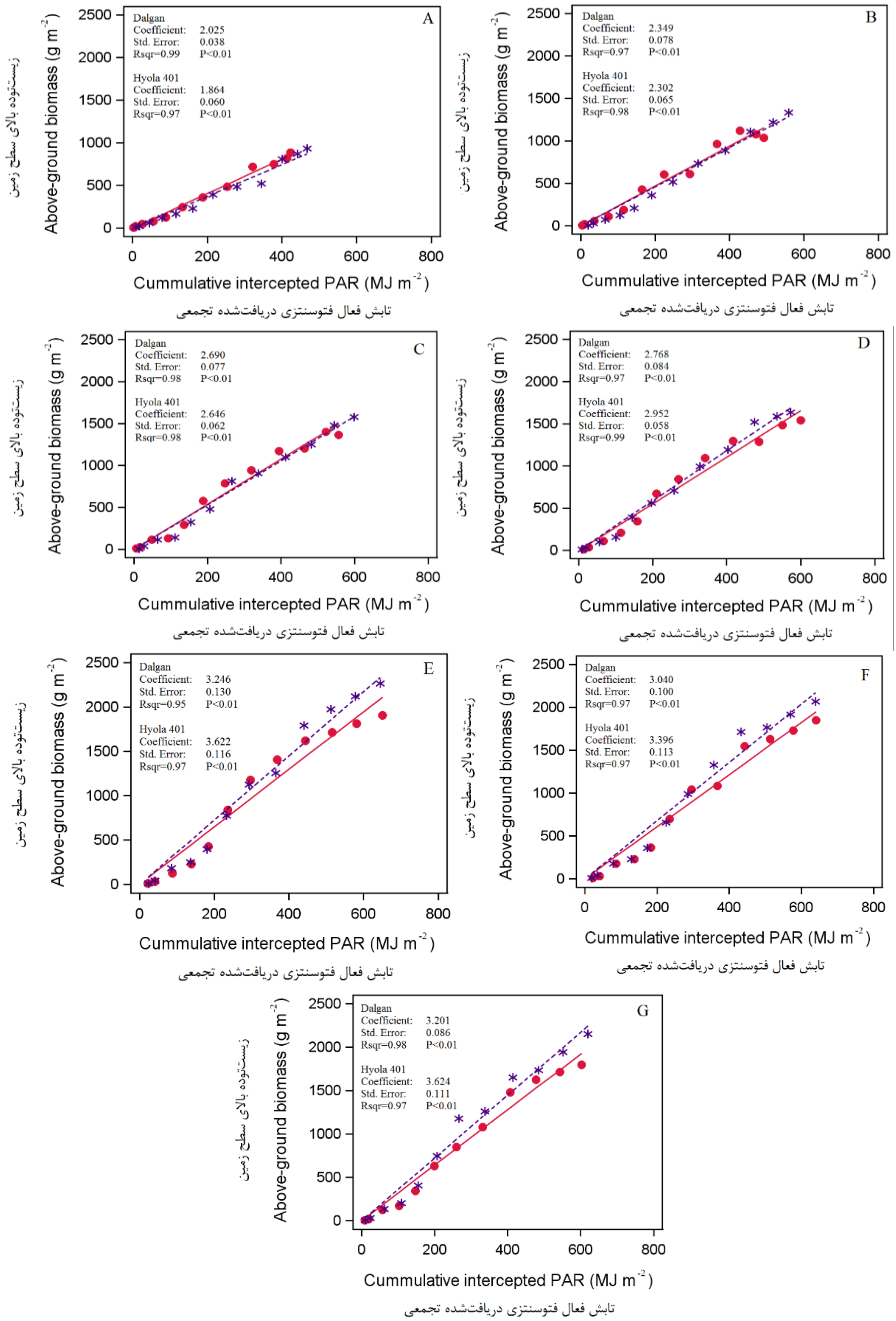


شکل ۷- رابطه بین زیست‌توده بالای سطح زمین و سرعت رشد محصول (A) و بین سرعت رشد محصول و کل تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده (B) در دو رقم کلزای مورد مطالعه

Figure 7- Relationship between above-ground biomass and crop growth rate (A), and between crop growth rate and the total intercepted photosynthetically active radiation (B) for two canola cultivars

در رقم دلگان بیشترین میزان RUE مربوط به سطح مصرف ۲۰۰ کیلوگرم N در هکتار بود که با سطوح مصرف پایین‌تر N تفاوت معنی‌داری داشت اما اختلاف آن با سطوح بالاتر مصرف N معنی‌دار نبود. در این رقم برخلاف رقم Hyola 401 اختلاف معنی‌داری بین سطوح مصرف ۱۰۰ و ۱۵۰ کیلوگرم N در هکتار و همچنین بین سطوح مصرف ۱۵۰ و ۲۵۰ کیلوگرم N در هکتار از نظر میزان RUE وجود نداشت (شکل ۸).

نتایج ما نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین به فراهمی N در هر دو رقم کلزای مطالعه شده به تغییر هر دو صفت IPAR و RUE مربوط بود. پاسخ‌های IPAR نتیجه تأثیر تیمارهای N بر FIR در طی چرخه رشد گیاه زراعی بود. مشابه با نتایج به‌دست‌آمده در اینجا، میوارین و پالتونن-ساینیو (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006) گزارش کردند که FIR ارقام غله قدیمی و مدرن (گندم، جو و یولاف) در تیمار شاهد در حدود ۲۲ تا ۳۸ درصد نسبت به شرایط مصرف ۹۰ کیلوگرم N در هکتار کمتر بود. کاهش FIR به‌طور عمده به پاسخ‌های LAI و LAD مربوط بود. کلنن و همکاران (Colnenne *et al.*, 2002) نیز پیامدهای ناشی از کمبود N بر تولید زیست‌توده را به تأثیر فراهمی این عنصر بر LAI و RUE نسبت دادند که مطابق با ساختار کلی مدل‌های رشد کلزا مانند Ceres Rape (Gabrielle *et al.*, 1998) و Azodyn (Jeuffroy and Recous, 1999) است. مندم (Mendham, 1995) کاهش LAI در پاسخ به کمبود N در کلزای زمستانه را با تغییر فیلوکرون، کاهش اندازه پهنک برگ‌ها و سرعت بالاتر از دست رفتن برگ‌های مسن توضیح داد. در این مطالعه، سرعت ظهور برگ در شرایط کمبود N به‌طور مشخصی کاهش یافت و زمان وقوع مراحل نمو فنولوژیک تا حدودی به تأخیر افتاد اما بوته‌های رشد یافته در این شرایط سریع‌تر به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک رسیدند (داده‌ها نشان داده نشده است). همچنین، کمبود شدید N منجر به کاهش چشمگیر سطح پهنک برگ‌ها گردید (شکل ۲)، اما ضخامت برگ‌ها در این شرایط اندکی بیشتر شد (داده‌ها نشان داده نشده است). افزایش سطح ویژه برگ (SLA) به‌موازات افزایش LAI در پاسخ به افزایش مصرف N توسط محققین دیگر نیز گزارش‌شده است (Ratjen and Kage, 2013; Sieling *et al.*, 2016). سرعت از دست رفتن برگ‌های مسن از ویژگی‌های ژنوتیپ بوده و به‌طور مستقیم توسط عوامل محیطی مثل دما، سایه‌اندازی برگ‌ها و فراهمی N تحت تأثیر قرار می‌گیرد (Mendham, 1995; Colnenne *et al.*, 2002).



شکل ۸- رابطه بین زیست‌توده بالای سطح زمین و تابش فعال فتوسنتزی دریافت شده تجمعی برای دو رقم کلزای Hyola 401 (خط‌چین) و دلگان (خط ممتد) در سطوح مصرف ۰ (A)، ۵۰ (B)، ۱۰۰ (C)، ۱۵۰ (D)، ۲۰۰ (E)، ۲۵۰ (F) و ۳۰۰ (G) کیلوگرم نیتروژن در هکتار

Figure 8- Relationships between above-ground biomass and cumulative intercepted photosynthetically active radiation of two canola cultivars Hyola 401 (dashed line) and Dalgan (solid line) for consumption levels of 0 (A), 50 (B), 100 (C), 150 (D), 200 (E), 250 (F) and 300 (G) kg nitrogen ha^{-1}

در هر دو رقم کلزای مطالعه شده فراهمی N تأثیری بر K نداشت که با گزارش‌های منتشرشده در مورد وابستگی FIR و IPAR به توسعه LAI در شرایط مصرف سطوح مختلف N در کلزای زمستانه (Dreccer *et al.*, 2000; Colnenne *et al.*, 2002) و گیاهان زراعی دیگری مانند آفتابگردان (Massignam *et al.*, 2009)، گندم (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006; Salvagiotti and Miralles, 2008; Sieling *et al.*, 2016)، جو (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006; Sieling *et al.*, 2016)، ذرت (Massignam *et al.*, 2009)، یولاف (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006) و گلرنگ (Masomipour *et al.*, 2016) مطابقت دارد. کلنن و همکاران (Colnenne *et al.*, 2002) ضریب K برای کلزای زمستانه در پاسخ به سطوح مختلف مصرف N را معادل ۰/۷۵ برآورد کردند که نزدیک به برآورد این ضریب برای دو رقم کلزای بهاره مطالعه شده در اینجا است (۰/۶۵ برای رقم Hyola 401 و ۰/۷۳ برای رقم دلگان). سیلینگ و همکاران (Sieling *et al.*,2016) ضریب K را برای گندم و جو پاییزه در تمام چرخه رشد و سطوح مختلف مصرف N ثابت و معادل ۰/۷۵ در نظر گرفتند. به نظر می‌رسد ضریب K نه‌فقط در مورد فراهمی مقادیر مختلف N (Justes *et al.*, 2000; Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006) بلکه در پاسخ به عوامل دیگری مانند کمبود فسفر (Sandana and Pinochet, 2011; Sandana *et al.*, 2012)، محدودیت‌های خاک (Salvagiotti and Miralles, 2008; Valle *et al.*, 2009)، تاریخ کاشت (Bassu *et al.*, 2011) و تراکم گیاهی (Ayaz *et al.*, 2004) نیز پارامتر بسیار باثباتی باشد. بااین‌حال، در برخی گیاهان این ضریب ممکن است در طی چرخه رشد و بسته به نوع مدیریت زراعی تغییر کند زیرا تراکم سایه‌انداز و درنتیجه توزیع برگ‌ها به‌ویژه در سایه‌اندازهای تنک در طی نمو تغییر می‌کند و شرایط تابش نیز جذب تابش در واحد سطح برگ را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Ratjen and Kage, 2013).

در این مطالعه میزان RUE در شرایط محدودیت N به‌شدت کاهش یافت. سیلینگ و همکاران (Sieling *et al.*, 2016) نیز گزارش کردند که RUE گندم و جو زمستانه در شرایط عدم مصرف کود به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر قرار گرفت، اما تفاوت میان سطوح بالای مصرف N ناچیز بود.جاستز و همکاران (Justes *et al.*, 2000) RUE کلزای زمستانه برای مراحل نموی آغازش گل (ظهور جوانه گل)، گلدهی و تشکیل خورجین‌ها را در شرایط مصرف ۲۷۰ کیلوگرم N در هکتار به‌ترتیب ۲/۶۹، ۳/۹۰ و ۳/۴۰ گرم بر مگاژول PAR گزارش کردند که نسبت به تیمار شاهد به‌طور متوسط در حدود ۳۷ درصد بیشتر بود. مندم و همکاران (Mendham *et al.*,1995) میزان RUE کلزای بهاره را ۳/۳۳ گرم بر مگاژول PARگزارش کردند که نزدیک به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه است. سینکلر و هوری (Sinclair and Horie, 1989) نشان دادند که LAI تنها اثری جزئی بر RUE دارد. وقتی LAI کم باشد مقادیر RUE نیز پایین است زیرا بیشتر برگ‌ها در شرایط اشباع نوری هستند. بنابراین، برگ‌های در معرض نور ممکن است کارایی کمتری از برگ‌های در سایه داشته باشند (Sinclair and Horie, 1989). کمانیان و همکاران (Kemanian *et al.*, 2004) نشان دادند که کاهش N موجود در برگ‌ها منجر به کاهش ظرفیت فتوسنتزی آن‌ها و درنتیجه کاهش RUE شد. میوارین و پالتونن–ساینیو (Muurinen and Peltonen-Sainio, 2006) نیز کاهش RUE در شرایط کمبود N را به دلیل کاهش محتوای نیتروژن برگ گزارش کردند. بنابراین، کاهش RUE در شرایط کمبود نیتروژن در دو رقم مطالعه شده به‌طور محتمل به دلیل کاهش محتوای نیتروژن برگ و درنتیجه کاهش غلظت رنگیزه‌های فتوسنتزی بوده است و کاهش SLA در این شرایط می‌توانسته تا حدودی به حفظ ظرفیت فتوسنتزی برگ‌ها کمک کند.

نتیجه‌گیری

در مجموع، نتایج این مطالعه نشان داد که پاسخ زیست‌توده بالای سطح زمین در دو رقم کلزای مطالعه شده به تفاوت سرعت رشد محصول در شرایط فراهمی مقادیر مختلف N مربوط بود. تابش تجمعی دریافت شده در طی دوره رشد و کارایی استفاده از تابش دو صفت فیزیولوژیکی بود که پاسخ‌های زیست‌توده بالای سطح زمین در این دو رقم را توضیح داد. در هر دو رقم کلزای مطالعه شده، ضریب K تحت تأثیر فراهمی N قرار نگرفت که نشان می‌دهد پاسخ‌های IPAR نتیجه تغییرات LAI و LAD در طی دوره رشد بود. دو رقم کلزای بهاره مورد ارزیابی تیپ رشدی مشابهی داشتند و بین آن دو از نظر عوامل اکوفیزیولوژیک تعیین‌کننده تولید زیست‌توده تفاوت اندکی وجود داشت.

References

1. Abeledo, G., Calderini, D., and Slafer, G. 2003. Genetic improvement of yield responsiveness to nitrogen fertilization and its physiological determinants in barley. Euphytica 133 (3): 291-298.
2. Ayaz, S., McKenzie, B., McNeil, D., and Hill, G. 2004. Light interception and utilization of four grain legumes sown at different populations and depths. The Journal of Agricultural Science 142 (3): 297-308.
3. Bassu, S., Giunta, F., and Motzo, R. 2011. Effects of sowing date and cultivar on radiation use efficiency in durum wheat. Crop and Pasture Science 62 (1): 39-47.

4. Colnenne, C., Meynard, L. M., Roche, R., and Reau, R. 2002. Effects of nitrogen deficiencies on autumnal growth of oilseed rape. European Journal of Agronomy 17 (1): 11-28.
5. Dreccer, F., Schapendonk, A. H. C. M., Slafer, G. A., and Rabbinge, R. 2000. Comparative response of wheat and oilseed rape to nitrogen supply: absorption and utilization efficiency of radiation and nitrogen during the reproductive stages determining yield. Plant and Soil 220 (1-2): 189-205.
6. Gabrielle, B., Denoroy, P., Gosse, G., Justes, E., and Andersen, M. N. 1998. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. Field Crops Research 57 (1): 95-111.
7. Jamieson, P. D., Martin, R. J., Francis, G. S., and Wilson, D. R. 1995. Drought effects on biomass production and radiation-use efficiency in barley. Field Crops Research 43 (2-3): 77-86.
8. Jeuffroy, M. H., and Recous, S. 1999. Azodyn: a simple model simulating the date of nitrogen deficiency for decision support in wheat fertilization. European Journal of Agronomy 10 (2): 121-144.
9. Justes, E., Denoroy, P., Gabrielle, B., and Gosse, G. 2000. Effect of crop nitrogen status and temperature on the radiation use efficiency of winter oilseed rape. European Journal of Agronomy 13 (2-3): 165-177.
10. Kemanian, A. R., Stöckle, C. O., and Huggins, D. R. 2004. Variability of Barley Radiation-Use Efficiency. Crop Science 44 (5): 1662-1672.
11. Masomipour, A., Torabi, B., and Rahimi, A. 2016. Studing extinction coefficient and radiation use efficiency in different cultivars of Safflower under different levels of Nitrogen (N) fertilizer. Electronic Journal of Crop Production 9 (3): 67-86. (in Persian with English abstract).
12. Massignam, A., Chapman, S., Hammer, G., and Fukai, S. 2009. Physiological determinants of maize and sunflower grain yield as affected by nitrogen supply. Field Crops Research 113 (3): 256-267.
13. Mendham, N. J. 1995. Physiological basis of seed yield and quality in oilseed rape. Proceedings of the Ninth International Rapeseed Congress, Cambridge.
14. Mendham, N. J., Russell, J., and Jarosz, N, K. 1990. Response to sowing time of three contrasting Australian cultivars of oilseed rape (*Brassica napus*). Journal of Agricultural Science 114 (3): 275-283.
15. Muurinen, S., and Peltonen-Sainio, P. 2006. Radiation-use efficiency of modern and old spring cereal cultivars and its response to nitrogen in northern growing conditions. Field Crops Research 96 (2-3): 363-373.
16. Olesen, J. E., Jorgensen, L. N., and Mortensen, J. V. 2000. Irrigation strategy, nitrogen application and fungicide control in winter wheat on a sandy soil. Ii. Radiation interception and conversion. The Journal of Agricultural Science 134 (1): 13-23.
17. Plenet, D., Mollier, A., and Pellerin, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation use efficiency, biomass accumulation and yield components. Plant and Soil 224 (2): 259-272.
18. Ratjen, A. M., and Kage, H. 2013. Is mutual shading a decisive factor for differences in overall canopy specific leaf area of winter wheat crops? Field Crops Research 149: 338-346.
19. Salvagiotti, F., and Miralles, D. 2008. Radiation interception, biomass production and grain yield as affected by the interaction of nitrogen and sulfur fertilization in wheat. European Journal of Agronomy 28 (3): 282-290.
20. Sandana, P., and Pinochet, D. 2011. Ecophysiological determinants of biomass and grain yield of wheat under P deficiency. Field Crops Research 120 (2): 311-319.
21. Sandana, P., Ramírez, M., and Pinochet, D. 2012. Radiation interception and radiation use efficiency of wheat and pea under different P availabilities. Field Crops Research 127: 44-50.
22. Sieling, K., Böttcher, U., and Kage, H. 2016. Dry matter partitioning and canopy traits in wheat and barley under varying N supply. European Journal of Agronomy 74: 1-8.
23. Sinclair, T. R., and Horie, T. 1989: Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A review. Crop Science 29 (1): 90-98.
24. Sinclair, T. R., and Muchow, R. 1999. Radiation use efficiency. Advances in Agronomy 65: 215-265.
25. Soltani, A., Robertson, M. J., Rahemi-Karizaki, A., Poorreza, J., and Zarei, H. 2006. Modeling Biomass Accumulation and Partitioning in Chickpea (*Cicer arietinum* L.). Journal of Agronomy and Crop Science 192 (5): 379-389.
26. Valle, S., Carrasco, J., Pinochet, D., and Calderini, D. 2009. Al toxicity effects on radiation interception and radiation use efficiency of Al-tolerant and Al-sensitive wheat cultivars under field conditions. Field Crops Research 114 (3): 343-350.
27. Watson, D. J. 1947. Comparative physiological studies on the growth of field crops I. Variation in NAR and LAR between species and varieties and within and between years. Annals of Botany 11 (1): 41-46.
28. Yin, X., Goudriaan, J., Lantinga, E. A., Vos, J., and Spiertz, H. J. 2003. A flexible sigmoid function of determinate growth. Annals of Botany 91 (3): 361-71.
29. Zhou, Z., Plauborg, F., Kristensen, K., and Andersen, M. N. 2017. Dry matter production, radiation interception and radiation use efficiency of potato in response to temperature and nitrogen application regimes. Agricultural and Forest Meteorology 232: 595-605.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 2, Summer. 2019, p. 291-303

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۸، ص. ۳۰۳-۲۹۱

Effect of Nitrogen Fertilizer on the Radiation Interception and Utilization Efficiency of two Spring Rapeseed Cultivars

S. A. Siadat[1*], A. Derakhshan[2]

Received: 21-05-2018
Accepted: 13-11-2018

Introduction: Crop biomass accumulation is directly related to the amount of photosynthetically active intercepted radiation by the canopy during the crop's cycle. The slope of this relationship represents the radiation use efficiency (RUE), defined as crop biomass produced per unit of total solar or photosynthetically active intercepted radiation (IPAR). Therefore, above-ground biomass (g m^{-2}) can be expressed as a product of the cumulative IPAR (MJ m^{-2}) during the crop cycle and RUE (g MJ^{-1}). The amount of IPAR depends on the length of the crop cycle over which radiation is accumulated, the fraction of intercepted radiation (FIR) by the canopy each day and the total incident solar radiation. The length of crop cycle is affected by the genotype and/or environmental factors mainly temperature and photoperiod. Indeed, soil constraints such as nutritional deficiencies have shown minor impacts on the crop cycle. FIR depends on the leaf area index (LAI) and the canopy light extinction coefficient (k). Several studies on different crops have shown that IPAR is negatively affected by nitrogen (N) deficiency. RUE is affected by the crop species, environmental conditions and also by management factors such as crop nutritional status. Over the past few decades, one of the aspects of improving crop productivity has been increasing N fertilizer utilization. Nitrogen application is one of the key inputs for crop production that determines the potential of total crops dry matter production through its effect on IPAR, RUE, and/or both. The aim of the present study was to comparatively evaluate in two rapeseed cultivars their responses on IPAR, RUE and related traits under different N availabilities at field conditions.

Materials and Methods: In this study, the effects of N utilization on IPAR and RUE of two spring rapeseed cultivars (Hyola 401 and Dalgan) were investigated. Field experiment was conducted as a split plot in a randomized complete block design with three replications at Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan. N consumption in seven levels of 0, 50, 100, 150, 200, 250 and 300 kg ha^{-1} was considered as the main factor and the type of rapeseed cultivar in two levels as the sub-factor.

Results and Discussion: The results showed that the response of the above-ground biomass to N supply in both of the studied rapeseed cultivars was related to the change in both IPAR and RUE. The total accumulated IPAR during the growing season under of consumption of 200 kg N ha^{-1} was about 27 and 35% higher than those of the control treatments in the cultivars Hyola 401 and Dalgan, respectively. In both rapeseed cultivars, IPAR was strongly dependent on LAI and LAD. This means that N utilization with increasing LAI and LAD resulted in an increase in IPAR. Reduction of LAI in response to N deficiency can be explained by (1) changing the phyllochron, (2) decreasing leaf blade area, and (3) the higher rate of loss of old leaves. Utilization of N had no effect on the light extinction coefficient (K) of crop canopy, and this coefficient was estimated to be 0.65 (± 0.02) in the cultivar Hyola 401 and 0.73 (± 0.02) in the cultivar Dalgan. Depending on N level, the above-ground biomass varied from 932 to 2192 g m^{-2} in the cultivar Hyola 401 and between 853 and 1811 g m^{-2} in the cultivar Dalgan. Depending on the availability of N, the RUE varied between 2.02 (control treatment) and 3.25 g MJ^{-1} (200 kg N ha^{-1}) for the cultivar Dalgan and between 1.86 (control treatment) and 3.62 g MJ^{-1} (300 kg N ha^{-1}) for the cultivar Hyola 401. Reducing RUE in N-limit treatments may be due to reduced leaves nitrogen content, which reduces their photosynthetic capacity.

Conclusions: The results of this study showed that the above-ground biomass production by two rapeseed cultivars was related to differences in their growth rates in response to the applying different amounts of N. The physiological traits that explained above-ground biomass responses of both cultivars were the cumulative intercepted radiation during the crop cycle and radiations use efficiency. In both rapeseed cultivars, the K coefficient was not affected by N utilization, which indicates that IPAR responses were the result of changes in LAI and LAD during the crop cycle affecting the fraction of intercepted radiation by the crop.

Keywords: CGR, Fraction of intercepted radiation, LAD, LAI, Light extinction coefficient

1- Professor, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
2- Ph.D. in Agronomy, Department of Plant Production and Genetics Engineering, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan
(*- Corresponding Author Email: seyedatasiadat@yahoo.com)